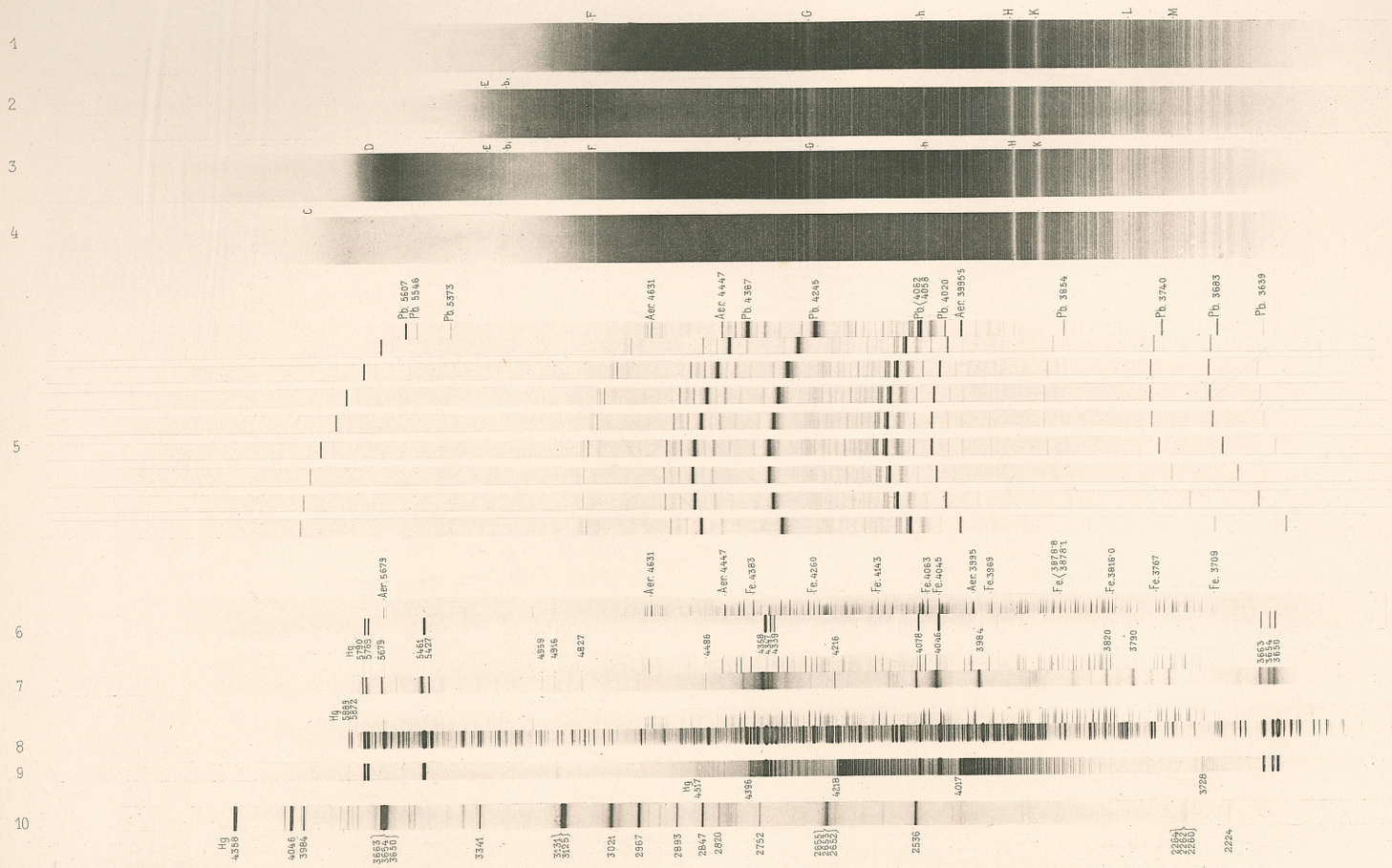
J. M. Eder und E. Valenta. Die verschiedenen Spectren des Quecksilbers.



1.—4. Sonnenspectrum, photographirt mittelst eines Glascompoundprismas und Glaslinsen von 1 m Focus für D. 1. Gewöhnliche Bromsilbergelatineplatte, 2. Acridingelb-, 3. Erythrosin-, 4. Cyaninplatten.

5. Photographische Methode zur Einstellung des Prismas auf das Minimum der Ablenkung (Funkenspectrum des Blei's).

6. Einfachstes Linienspectrum des Quecksilbers in Geisslerröhren (Funken ohne Flaschen) daneben Eisen-Funkenspectrum.

7. Linienspectrum des Quecksilbers in Geisslerröhren (mit Flaschenfunken) daneben Eisen-Funkenspectrum.

8. Linienreichstes Spectrum des Quecksilbers, während des Destillirens in Vacuumröhren (mittelst Flaschenfunken) erhalten.

9. Bandenspectrum des Quecksilbers (Glasspectrograph).

10. Funkenspectrum des Quecksilbers im Ultraviolett (Quarzspectrograph).

Denkschriften d. kais. Akad. d. Wiss. math.-naturw. Classe. Bd. LXI.

Spectrumphotographie von J. M. Eder und E. Valenta.

Heliogravure des k. u. k. milit.-geogr. Institutes.

ÜBER

DIE VERSCHIEDENEN SPECTREN DES QUECKSILBERS

VON

J. M. EDER UND E. VALENTA.

AUS DEM PHOTOCHEMISCHEN LABARATORIUM DER K. K. LEHR- UND VERSUCHSANSTALT FÜR PHOTOGRAPHIE UND REPRODUCTIONSVERFAHREN IN WIEN.

(Mit 1 heliographischen Tafel und 3 Textfiguren.)

VORGELEGT IN DER SITZUNG AM 5. JULI 1894.

Das Spectrum des Quecksilbers war in seinen verschiedenen Erscheinungsformen als Bogen-, Funken- und Flammenspectrum seit Kirchhoff öfters von Spectroskopikern untersucht worden, ohne dass eine wünschenswerthe Übereinstimmung in den Angaben der Letzteren erzielt worden wäre. Namentlich die wichtige Rolle, welche das Quecksilberspectrum in Geissler'schen Röhren mitunter als unwillkommene Nebenerscheinung spielt, ist nicht genügend sicher gestellt, so dass wir bei Versuchen, das Quecksilberspectrum an der Hand der bisher vorliegenden Publicationen [1] in anderen Spectren zu identificiren, respective aus denselben zu eliminiren, auf unüberwindliche Hindernisse stiessen.

Wir griffen deshalb das Studium dieses Spectrums neuerdings auf und wollen, um die Ergebnisse desselben übersichtlich darzustellen, zunächst auf die vor uns gemachten Untersuchungen über das Quecksilberspectrum in Kürze eingehen.

Das Bogenspectrum des Quecksilbers ist von Kayser und Runge erschöpfend untersucht worden, [2] welche dasselbe bis zur Wellenlänge 610 $\mu\mu$ photographirten; sie fanden zahlreiche Triplets, welche sie in Haupt- und Nebenserien einreihten. Das Funkenspectrum des Quecksilbers wurde von den genannten Forschern nicht untersucht, wohl aber bemerkten dieselben, dass sie eine grosse Anzahl der von Thalén und von Hartley und Adeney gemessenen Linien nicht, dafür aber eine Anzahl neuer Linien im Bogenspectrum fanden. Die Resultate der Untersuchungen von Kayser und Runge nahmen wir in die weiter unten folgenden Tabellen auf.

Das Funkenspectrum des Quecksilbers wurde von Huggins [3] und Thalén [4] im sichtbaren Theile, von Hartley und Adeney [5] im ultravioletten Theile mittelst des Quarzspectrographen untersucht. Der

[1] Vergl. Watts' »Index of Spectra«; ferner Kayser und Runge, »Die Spectren der Elemente« und die weiter unten citirten Literaturangaben.

[2] Kayser und Runge, Die Spectren der Elemente. 4. Abschnitt, 1891. Abhandl. der königl. preuss. Akad. d. Wiss. vom Jahre 1891.

[3] Phil. Transact. 1864, S. 139.

[4] Thalén, Nova Acta Soc. Ups. (III.) Bd. 6, 1868. — Siehe auch Watts, Index of Spectra, 1889, S. 105.

[5] Phil. Transact. 1884, S. 175; Watts, Index a. a. O.

Quecksilberfunke wurde dadurch erhalten, dass der Funke zwischen mit Quecksilber gefüllten Glascapillarröhren überschlug. Das Quecksilberspectrum im Geissler'schen Rohre bei vermindertem Druck wurde von H. W. Vogel zuerst einer Untersuchung im violetten Theile und im Beginne des Ultraviolett unterzogen,[1] wobei, da Glasprismen zur Verwendung gelangten, die Linien nur von $\lambda = 3650$ aufwärts in die Erscheinung traten.

Bereits E. Wiedemann beobachtete die Erscheinung, dass Geissler'sche Röhren, welche neben Wasserstoff oder Stickstoff etwas Quecksilber enthalten, beim Durchschlagen des Funkens und hinlänglicher Verdünnung, wenn sie erwärmt werden, das Hg-Spectrum zeigen, welch' letzteres derartig vorherrschend werden kann, dass es allein sichtbar ist, während das H- oder N-Spectrum verschwindet.[2]

H. W. Vogel[3] untersuchte das Spectrum des Quecksilbers bei geringem Druck und mässigem Funken, das heisst unter den Bedingungen, wie sie bei den photographischen Aufnahmen der Spectralerscheinungen in Geissler'schen Röhren auftreten. Er benützte dazu eine mit Stickstoff gefüllte Geisslerröhre, die einige Tropfen Quecksilber enthielt. Es zeigten sich bei entprechender Verdünnung die N-Linien neben den Hg-Linien deutlich. H. W. Vogel verglich nun 1. das Spectrum des zwischen Hg-Polen bei gewöhnlichem Luftdrucke überspringenden Flaschenfunkens; 2. das Spectrum der quecksilberhaltigen Stickstoffröhre bei gewöhnlicher Temperatur und 3. das Spectrum derselben Röhre im erhitzten Zustande, wobei das Quecksilberspectrum allein hervortrat.

Beim Flaschenfunken der Quecksilberelektroden an der Luft traten im Indigo, Violett und in dem kurzen Stücke Ultraviolett, welches der Glasspectrograph zur Geltung kommen lässt, dieselben Hauptlinien wie im Geissler'schen Rohre auf, jedoch »fehlte die starke Quecksilberlinie $\lambda = 3983$ im Röhrenspectrum gänzlich«, dagegen traten schwache Linien ($\lambda = 4216$, 4172, 4108, 4008, 3910, 3888 bis 3860)[4] und Banden auf, welche im Flaschenfunken fehlten. Vogel bemerkt, es sei auffallend, dass durch Verdünnung respective Temperaturniedrigung gerade eine der hellsten (»oder um mit Lockyer zu sprechen, der längsten«) Linien $\lambda = 3983$ verschwindet, während viel schwächere Gruppen (zum Beispiel 4046 bis 4077) sichtbar bleiben.[5] Ferner sind die Linien des verdünnten Gases schärfer als jene des dichten.

G. Ciamician arbeitete mit reinen quecksilberhaltigen Vacuumröhren, aus welchen fremde Gase durch Auskochen mittels Quecksilber vorher entfernt wurden.[6] Er beobachtete im durchschlagenden Funken beim gelinden Erwärmen der Röhre im Spectrum eine orangerothe, zwei gelbe, eine gelbgrüne und je eine blaue und violette Linie, deren Wellenlänge er nicht angibt (höchst wahrscheinlich sind dies die Linien $\lambda = 6152{\cdot}3$, $5790{\cdot}5$, $5769{\cdot}5$, $5461{\cdot}0$, $4358{\cdot}6$, $4046{\cdot}8$ unserer im weiteren mitgetheilten Quecksilberlinientabelle, Anm. der Verf.); Ciamician bemerkt, dass die Linien, insbesondere die grünen, blauen und violetten sich beim Erhitzen des Quecksilberrohres bis zum Erhitzen des Quecksilbers bis zu dessen Siedepunkt zu Folge der Druckerhöhung im Rohre bis zu einer Atmosphäre stark verbreitern. Eine weitere Charakteristik des Quecksilberspectrums findet sich bei Ciamician nicht.

Eigene Versuche.

Die Kenntniss der in Geissler'schen Röhren auftretenden Hg-Linien erschien uns im Verlaufe unserer Arbeiten mit solchen Röhren sehr erwünscht und ist von besonderer Wichtigkeit schon aus dem Grunde,

---

[1] Berichte der königl. preuss. Akad. d. Wiss. 1879, S. 595.

[2] Wiedemann's Annal. Bd. V, S. 500.

[3] Ibid.

[4] Wir halten die Linie 4172, welche H. W. Vogel als schwache Quecksilberlinie im Geisslerrohre anführt, für keine Quecksilberlinie, da wir sie in reinen Quecksilberröhren niemals beobachteten; 4108 könnte wohl dem Hg-Linienspectrum angehören, ist aber nur in erhitzten Röhren mit Flaschenfunken erhältlich; die Linie 4008 ist vielleicht eine Componente des Quecksilberbandenspectrums, ebenso 3910; die Linien 3888—3860 sind sicher keine Quecksilberlinien, was unter dem Abschnitte »Bandenspectrum des Quecksilbers« von uns näher erörtert werden wird. (Anm. von Eder und Valenta.)

[5] Hierzu bemerken wir, dass wir das Verschwinden der Linie $\lambda = 3984$ im Geisslerrohre und bei hoher Verdünnung gleichfalls constatirten, jedoch nur, wenn der Funken ohne Flaschen verwendet wurde. (S. unsere Tabelle.) — E. u. V.

[6] Sitzungsberichte der kais. Akad. d. Wiss. 1878, Bd. LXXVIII, S. 886.

weil das Quecksilberspectrum ein nie fehlender Begleiter der Spectren verdünnter Gase ist,[1] wenn die Röhren in der gebräuchlichen Weise mittelst der Quecksilberluftpumpe evacuirt worden sind.[2] Sind daher die im Vacuum möglicherweise auftretenden Quecksilberspectren nicht genau bekannt, so sind irrthümliche Linienbestimmungen oder Verwechslungen beim Arbeiten mit verdünnten Gasen in Geisslerröhren schwer zu vermeiden.

Auch Metalle, welche im Vacuum destillirt werden,[3] zeigen öfter Spuren von Quecksilber, wie wir gelegentlich unserer Untersuchungen über das Spectrum von Kalium und Natrium gezeigt haben; es tritt daher oft an den Spectroskopiker die Frage heran, welche Linien des Quecksilberspectrums wohl als Nebenerscheinungen zu berücksichtigen sind.

Ein Vorversuch, welchen wir mittels evacuirten Quecksilberröhren machten, zeigte uns die Unmöglichkeit, sich an der Hand der vorhandenen Angaben zu orientiren, denn es trat von dem Hg-Haupttriplet, welches Hartley und Adeney zu Anfang des Ultraviolett führen ($\lambda = 3662, 3654, 3632$) die stärkste Quecksilberlinie ($\lambda = 3632$) nicht auf, dagegen eine intensive Hauptlinie bei $\lambda = 3650$, welche bisher nur von Kayser und Runge im Bogenspectrum beobachtet worden war. Es war somit unentschieden, ob das Bogen- oder Funkenspectrum für das Vacuumspectrum mehr Giltigkeit habe oder ob bei Hartley und Adeney's (sonst sehr verlässlichen) Angaben ein Irrthum unterlaufen sei, wie es sich allerdings schliesslich herausstellte. Eine Vergleichung der bis jetzt vorliegenden Quecksilberlinien unter verschiedenen Druckverhältnissen zeigte uns, dass die Versuche der genannten Spectroskopiker unter zu ungleichartigen Verhältnissen angestellt worden sind, um directe vergleichbar zu sein und weitere Schlussfolgerungen daran knüpfen zu können.

Über die Existenz von verschiedenen Quecksilberspectren: Linien- und Bandenspectrum.

Unsere Untersuchungen erstreckten sich auf das Verhalten des Quecksilberspectrums bei verschiedenen Temperaturen und Druckverhältnissen; wir haben das Funken-, Bogenspectrum, sowie das Spectrum des Quecksilbers in Vacuumröhren in dieselben einbezogen. Hiebei erweiterten wir die Kenntnis des Linienspectrums, welches bisher augenscheinlich nur im unvollkommen entwickelten Zustande beobachtet worden war und entdeckten ein neues Bandenspectrum des Quecksilbers, welches letztere um so interessanter ist, als dadurch der Nachweis erbracht wurde, dass der Quecksilberdampf der Analogie mit anderen Gasspectren folgt, wie z. B. demjenigen des Wasserstoffes, des Stickstoffes etc., bei denen ja gleichfalls ein Linien- und ein Bandenspectrum beobachtet wurde.

Das Linienspectrum des Quecksilbers tritt in verschiedenen Stadien der Vollständigkeit im Bogenlicht, im Funken zwischen Quecksilberelektroden bei Atmosphärendruck, in Vacuumröhren bei gewöhnlicher Temperatur unter dem Einflusse des Inductionsfunkens mit und ohne Flaschen, sowie im Quecksilberdampf von 3 bis über 1000 *mm* Druck (bei 100 bis über 400° C.) im Flaschenfunken auf. Das Bandenspectrum dagegen erscheint nur unter ganz bestimmten Bedingungen vollkommen ausgebildet, nämlich, wenn man den Funken einer kräftigen Inductionsrolle (ohne Flaschen) durch Vacuumröhren schlagen lässt, in denen sich ein Tropfen Quecksilbers befindet und welche während des Versuches einseitig erhitzt werden, so dass das Quecksilber abdestillirt. Die Dämpfe entweichen durch die Capillare in

---

[1] Z. B. zeigen Wasserstoffröhren, welche mittelst einer Quecksilberluftpumpe mit Wasserstoff bei einigen Millimetern Druck gefüllt worden sind, manchmal im ultravioletten Theile des Spectrums ziemlich viele Linien im Inductionsfunken, welche aber nichts anderes als Quecksilberlinien sind.

[2] Sehr lange Glasröhren, welche man eventuell abkühlt, verhindern nicht das Übertreten von Spuren Quecksilbers in die evacuirten Geisslerröhren. Schwefelstückchen, welche Hg binden sollen, und darauf folgende Kupferstreifen, wie selbe öfters empfohlen wurden, sind unsichere Hilfsmittel, weil nach V. Schumann sich SO_2-Spuren bilden können. Goldplättchen selbst sind als Absorptionsmittel für Hg nicht völlig wirksam; am besten eignet sich nach V. Schumann Platinmohr, welcher vorher gut ausgeglüht wurde.

[3] Siehe Eder und Valenta, Spectrum von Kalium, Natrium und Cadmium bei verschiedenen Temperaturen. 1894. (Denkschr. d. kais. Akad. d. Wiss. in Wien.)

den anderen weiteren Theil der Röhren, wo Condensation stattfindet und dadurch ein fortwährendes Steigen des Druckes in den Röhren verhindert wird. Wir wollen diese beiden Hauptspectren einzeln genauer beschreiben.

I. Linienspectrum des Quecksilbers.

Das Linienspectrum des Quecksilbers tritt in abweichenden Formen der Entwicklung sowohl im Bogen- und Funken, als auch in Vacuumröhren auf.

1. Das Bogenspectrum

entsteht, wenn Quecksilber im elektrischen Flammenbogen verflüchtigt wird; wir behielten die von Kayser und Runge ermittelten Wellenlängen der Linien dieses Spectrums bei, mit Ausnahme einiger weniger Linien, bei denen wir unsere Messungen, der grösseren Schärfe einiger von uns erhaltenen Spectren halber, für entschieden genauer halten. Es ergibt sich (siehe Tabelle), dass im Bogenspectrum die Umkehrung zahlreicher Linien viel leichter erfolgt, als im Funken- oder Geisslerrohrspectrum, was auf die im Flammenbogen auftretenden grossen Dampfmengen zurückzuführen ist.

Es finden sich viele unscharfe verbreiterte Linien, was jedoch auch beim Funkenspectrum vorkommt, wenn es beim Durchschlagen des Inductionsfunkens durch Hg-Dampfe von hohem Drucke entsteht.

2. Das Funkenspectrum des Quecksilbers

lässt sich am besten erhalten, wenn man zwei Uförmig gebogene Glasröhren von 2—4 *mm* Durchmesser mit reinem Quecksilber füllt, in den einen Schenkel je eine Electrode leitet und von den Enden der anderen Schenkel den Funken horizontal überspringen lässt. Die mehrfach von Hartley und Adeney empfohlene Methode: das Quecksilber durch Glascapillarröhren nach abwärts tropfen und zugleich den Funken durchschlagen zu lassen, ist schwer ausführbar, sobald man mit starken Flaschenfunken arbeitet; derselbe verdampft die Quecksilbercapillarfäden und zertrümmert leicht die Capillarröhren, so dass die Arbeit unmöglich wird. Weitere mit Quecksilber gefüllte Röhren, wie wir selbe beschrieben haben, geben mit einem Strome (Gleichstrom) von 4—5 Ampère und 110 Volt Spannung in der Primärwickelung unseres Inductoriums[1] Flaschenfunken (1 Leydnerflasche), mit welchen gute photographirbare Spectren erhalten werden.

Auch unter Verwendung von Metallamalgamen lassen sich gut definirte Quecksilberspectren erzielen, wir zogen es jedoch vor, mit reinem Quecksilber zu arbeiten.

Auf die Reinheit des Quecksilbers verwendeten wir grosse Sorgfalt und destillirten »chemisch reines« Quecksilber, wie es im Handel erhältlich ist, mehrmals im Vacuum, wobei jedes Aufwallen des Quecksilbers im Destillationsapparate, welches ein Mitreissen von flüssigen Quecksilber ins Destillat zur Folge haben könnte, sorgfälltig vermieden wurde.

Im Funkenspectrum zeigen sich wesentlich mehr Linien als im Bogenspectrum,[2] was der weitaus höheren Temperatur des Funkens gegenüber jener, welche im Bogen herrscht, zuzuschreiben ist. Eine wesentliche Änderung des Charakters bei derlei Spectren ist nicht zu bemerken, indem durchschnittlich dieselben Hauptlinien beiderseits vorkommen und auffallende Schwankungen in den Intensitätsverhältnissen der Linien nur in beschränktem Maasse auftreten (Analogie mit Kalium und Natrium — Gegensatz zu Cadmium und Zink). Viele Linien, deren Existenz bisher im Funkenspectrum nicht bekannt war, welche aber Kayser und Runge im Bogenspectrum neu aufgefunden hatten constatirten wir auch im Funkenspectrum. Bei Atmosphärendruck sind zahlreiche verbreiterte Linien und Triplets charakteristisch, welche oft derartig verbreitert und von Lichthöfen umgeben sind, dass sie in breite schwer auflösbare Banden zusammenfliessen; dies gilt besonders von den Triplets $\lambda = 4358, 4347, 4339$, dann 3663, 3654, 3650 und

---

[1] Siehe a. a. O.

[2] Wir haben im Funkenspectrum des Quecksilbers beiläufig 170 Linien gemessen, gegenüber beiläufig 90 im Bogenspectrum nachgewiesenen Quecksilberlinien.

2655, 2653, 2652 ferners von den Linien 3131, 3125, 3021, 2536 (siehe Tabelle) und anderen Linien, welche im Geisslerrohr klar und scharf definirt werden. Diese Erscheinung hängt offenbar mit dem herrschenden Gasdruck zusammen, bei dessen Steigerung das Quecksilberspectrum schon sehr auffallende Verbreiterung zeigt.

Es ist bemerkenswerth, dass im Linienspectrum eines quecksilberhältigen Vacuumrohres in der That starke Hauptlinien des Bogen- und Funkenspectrums fehlen, z. B. die Linien $\lambda = 3984 \cdot 1$, $3790 \cdot 4$, $3751 \cdot 8$, $3680 \cdot 7$, jedoch treten diese Linien sofort wieder kräftig hervor, wenn man den Inductionsfunken durch Einschalten von starken Leydenerflaschen verstärkt. H. W. Vogel führt im Funkenspectrum des Quecksilbers (Flaschenfunken) eine Anzahl von Linien als Hg-Linien an, welche wie er selbst bemerkt, mit Angström'schen Luftlinien coincidiren, die er aber dennoch als Quecksilberlinien betrachtet. Wir photographirten das Quecksilberspectrum bei Luftzutritt und daneben das Cd, Zn, Pb, Fe-Spectrum ebenfalls bei Luftzutritt und waren so in der Lage, die völlige Coincidenz einer Reihe derartiger Linien, sowie eine Identität im Charakter desselben mit Luftlinien festzustellen und mussten daher eine grosse Anzahl der erwähnten Linien für wahre Luftlinien erklären. Dem zu Folge mussten wir folgende Vogel'sche Quecksilberlinien des Funkenspectrums an der Luft aus den Reihen der wahren Quecksilberlinien streichen: $\lambda = 4650$, 4642 4631, 4620, 4613, 4607, 4601, 4590, 4447, 4425, 4415, 4320, 4216, 4197, 4195, 4188, 4150, 4143, 4131, 4118, 4110, 4104, 4095, 4070, 4060, 3995, 3975, 3967, 3932, 3919 (vergl. auch unsere Anmerkung oben).

Im Hartley'- und Adeney'schen Spectrum des Quecksilbers fanden wir keine fremden Linien auf. In wie weit die von uns ermittelten Zahlen mit jenen übereinstimmen, geht aus der Tabelle unmittelbar hervor.

3. Linienspectrum in quecksilberhaltigen Vacuumröhren.

Enthält ein Geisslerrohr nur Spuren von Quecksilber nebst irgend einem Gase (H, N oder CO etc.) von einigen Millimetern Druck, so tritt neben dem Gasspectrum noch das Quecksilberlinienspectrum auf und zwar meist in den Hauptlinien. Verdünnt man das Gas stark im Rohre, so kann unter Umständen das Quecksilberspectrum dominiren (s. o.) besonders, wenn man das Rohr erwärmt und Flaschenfunken durchschlagen lässt, z. B. zeigen stark evacuirte mit Wasserstoff gefüllte Röhren im Ultraviolett nur das Quecksilberlinienspectrum, wenn auch nur Spuren von Quecksilber vorhanden sind; solche können durch das Verbindungsrohr von der Quecksilberluftpumpe leicht in das Geisslerrohr gelangen. Derartige Spectren sind die linienärmsten der in Vacuumröhren (in der Capillare) zu beobachtenden Quecksilberspectren, insbesondere linienarm wird dasselbe in weiten Geisslerröhren [1]; die Linien sind vollkommen scharf und alle ultravioletten Triplets prächtig scharf aufgelöst; sehr hübsch lässt sich dieses linienärmste Quecksilberspectrum erhalten, wenn man die Röhre, welche einen Tropfen Quecksilber enthält, vollkommen evacuirt und dann zur Beseitigung fremder Gase das Quecksilber zum Theile aus dem Rohre destillirt,[2] das Rohr sodann abschmilzt und nun bei gelinder Temperatur den Funken eines kräftigen Inductoriums (ohne Flaschen) hindurchschlagen lässt.

Dieser Versuch lässt sich auch in Röhren, welche mit eingeriebenen Quarzpfropfen oder aufgekitteten Quarzplatten verschlossen sind, durchführen und hiebei das ultraviolette Spectrum photographiren und ausmessen. Es sind im sichtbaren Theile wenig Linien vorhanden, dagegen treten im Ultraviolett viel mehr Linien auf (siehe unsere Tabelle).

Die Resultate unserer Untersuchungen zeigen, dass das Quecksilberspectrum im Geisslerrohre, bei Anwendung eines kräftigen Inductoriums ohne Leydenerflaschen, viele Linien besitzt, welche auch im Bogen- und Funkenspectrum als Hauptlinien auftreten, nur sind diese Linien alle viel schärfer und besser definirt, wenn Geisslerröhren unter obigen Umständen zur Verwendung kommen. Insbesonders einige Triplets treten scharf hervor.

---

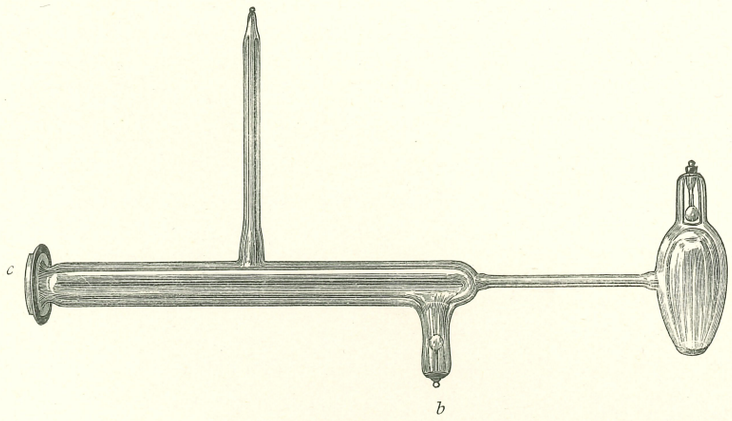
[1] Man beobachtet in weiten Geissler'schen Röhren im sichtbaren Theile bei geringem Gasdruck (Inductionsfunke) häufig nur drei Quecksilberlinien, nämlich die gelbe Linie $\lambda = 5769$, die gelbgrüne $\lambda = 5461$ und die blaue $\lambda = 4358$.

[2] Dies geschieht am besten in der Weise, dass man das Rohr in ein geeignetes Luftbad einlagert.

Im Allgemeinen zeigt das Quecksilberspectrum im Geisslerrohre unter den geschilderten Bedingungen weniger Linien als im Bogen- und Funkenspectrum auftreten, indem mehrere schwache Linien, welche den letztgenannten Spectren angehören, fehlen. Während sich der Charakter und die Zahl der Linien des Quecksilberspectrums im Geisslerrohre ohne Flaschen nur sehr wenig ändern, wenn die Temperatur des Rohres und damit der in demselben herrschende Druck gleichmässig gesteigert wird[1] (was wir durch Erwärmen der Rohre in einem geeigneten Luftbad bis 400° C und darüber durchführten), verhält sich die Sache anders, wenn man den Funken durch Einschalten von Leydenerflaschen verstärkt.

Das Auftreten der Hauptlinien im Vergleiche mit Bogen- nnd Funkenspectrum erleidet zwar keine Veränderung, wohl aber ist ein reichlicher Linienzuwachs zu constatiren, wobei dann das Spectrum der Capillare erhitzter quecksilberhältiger Geisslerrohre linienreicher als das Bogen- und Funkenspectrum des Quecksilbers ist; welch letzteres wiederum mehr als das Bogenspectrum aufweist. Während durch Anwendung von starken Inductorien mit eingeschalteten Leydenerflaschen und Gleich- oder Wechselstrom in der Capillare der Geisslerrohre ein linienreiches Spectrum auftritt, zeigt sich unter diesen Umständen im weiten Theile der Röhren häufig das linienärmste Spectrum, mitunter ist demselben (wenn man wenig oder kleine Leydenerflaschen eingeschaltet hatte) auch das Bandenspectrum fragmentarisch beigemengt. In allen den geschilderten Fällen wächst die Linienzahl mit der Temperaturerhöhung in der Capillare und daher bis zu einem gewissen Grade mit der Vermehrung der Leydenerflaschen. Die Versuche in gleichmässig erhitzten Röhren, bei denen wir die Temperatur des Luftbades auf ca. 600° C steigerten, konnten nur in zugeschmolzenen Glasröhren durchgeführt werden, da die Röhren mit eingeschlossenen Quarzpfropfen oder aufgekitteten Quarzplatten, wie wir selbe zur Untersuchung des ultravioletten Theiles des Spectrums benützten, dem starken Erhitzen nicht Stand halten.[2]

Fig. 1.



Vacuumröhre mit Destillationseinrichtung.

Wir haben deshalb die Erscheinungen, welche in solchen Röhren auftreten, nur in soweit verfolgen können, als es die Glasabsorption gestattet.

Bei diesen Versuchen ist eine bedeutende Steigerung der Helligkeit im Geisslerrohre zu beobachten, worauf bereits Dr. Natterer aufmerksam machte. Besonders, wenn das Rohr nicht gleichmässig erhitzt wird, tritt eine enorme Steigerung der Helligkeit ein und nicht nur die Capillare selbst erstrahlt im blendend weissen Lichte, sondern auch der weitere Theil des Rohres erscheint mitunter von leuchtenden weisslichen Flammenbändern durchzogen. Betrachtet man diese Erscheinung mit einem Taschenspectroskope, so wird man ein, namentlich im gelbgrünen und grünblauen Theile linienreiches und kaum auflösbares Spectrum erkennen.

---

[1] Über die Tension des Quecksilberdampfes bei verschiedenen Temperaturen vergl. insbesondere: W. A. Kahlbaum, Spannkraft-Messungen. Basel 1894 (Seite 65); ferner Landolt und Börnstein, Chemisch-phys. Tabellen. II. Aufl. (Seite 67). — Die Tension des Quecksilberdampfes bei 10° C. ist gleich 0·0005 *mm*, bei 50° C = 0·013 *mm*, bei 100° C. = 0·285 *mm* (Hertz), bei 121° C. = 1 *mm*, bei 149° C. = 3 *mm*, bei 162·5° C. = 5 *mm*, bei 182·7° C. = 10 *mm*, bei 194·6° C. = 15 *mm*, bei 203·4° C. = 20 *mm*, bei 220·4° C. = 35 *mm* (Kahlbaum), bei 400° C. = 1588 *mm*, bei 500° C. = 6520 *mm* (Regnault).

[2] Vacuumröhren, welche mit Gasen, z. B. H, unter sehr geringem Drucke (einige Millimeter) gefüllt sind und überdies etwas Quecksilber enthalten, lassen den Flaschenfunken durch. Das Quecksilberspectrum, das in solchen Röhren auftritt, ist dann dasjenige der Geisslerrohrspectren in reinen Quecksilbervacuumröhren, welchen sich aber mehrfach Linien des Funkenspectrums (s. Tabelle, Rubrik III) beimengen.

Wie uns zahlreiche Versuche zeigten, tritt dieses Spectrum am deutlichsten und besten ausgebildet stets dann hervor, wenn der Funke eines kräftigen, mit einer Anzahl von grossen Leydenerflaschen verstärkten Inductoriums durch die Capillare eines Geisslerrohres schlägt, durch welche Quecksilber bei geringem Drucke destillirt.

Diese Beobachtung führte uns dazu, Geisslerrohre von der in obenstehender Figur (Fig. 1) abgebildeten Form zu verwenden.

In *a* befindet sich eine retortenartige Erweiterung, welche einige Tropfen Quecksilber enthält, daran schliesst sich die ziemlich enge Capillarröhre, an welche sich die lange und entsprechend weite Röhre mit der Elektrode *b* anschliesst, deren Ende *c* mit einer aufgekitteten planparallelen Quarzplatte[2] verschlossen ist. Erhitzt man nun das vollkommen evacuirte Rohr unter *a*, so verflüchtigt sich das Quecksilber und destillirt durch die Capillare nach dem weiten Rohre, in welches die vollkommene Condensation der Dämpfe erfolgt. Es herrscht also in dem Rohre fast kein Druck. Lässt man nun einen kräftigen Flaschenfunken durchschlagen und erhitzt die Capillare, so erstrahlt dieselbe in glänzend weissem Lichte und man erhält ein Spectrum, welches aus ungemein zahlreichen scharfen Linien besteht (siehe die Tafel, Fig 8). Die oben beschriebene Einrichtung des mittels Quarzplatte verschlossenen Geisslerrohres gestattete uns, dieses Spectrum sowohl im sichtbaren als im ultravioletten Theile zu photographiren. Wir haben diese Spectren ausgemessen und die Resultate dieser Messungen in die beifolgende Tabelle (Rubrik V) aufgenommen. Dasselbe enthält alle Haupt- und Nebenlinien des Funken- und Bogenspectrums scharf und deutlich ausgebildet, dazwischen tritt aber eine Reihe von kräftigen Linien auf, welche sonst in diesen letzteren Quecksilberspectren nicht zu constatiren sind (vergl. die Tabelle).

Im weiten Theile des Rohres tritt unter diesen Umständen und wenn sich die Elektrode knapp hinter der Capillare befindet, nur das einfache Linienspectrum auf, dagegen kommt das Bandenspectrum dort zum Vorschein, wo die Elektrode etwas weiter von der Capillare entfernt ist.

Die Erscheinung des linienreichen vollkommenen Linienspectrums in der Capillare ist an die Verwendung von sehr grossen oder vielen kleinen Leydenerflaschen gebunden. Schaltet man diese gänzlich aus, so tritt in die Capillare sofort das Bandenspectrum (siehe S. 3) auf, während bei nur theilweisem Ausschalten der Flaschen das Linienspectrum, mit Resten des Bandenspectrums vermengt, in der Capillare auftritt.

Unseren Versuchen zu Folge entsteht also das vollkommenste linienreichste »Linienspectrum« des Quecksilbers bei den höchsten bisher verwendeten Temperaturen und kleinstem Drucke in Geisslerröhren, wenn ein kräftiger Flaschenfunke während der Destillation des Quecksilbers durch die Capillare durchschlägt. Das Phänomen tritt am schönsten bei Verwendung eines kräftigen Stromes (Gleichstrom oder Wechselstrom) auf, doch kann es leicht geschehen, dass die Aluminiumelektroden in Folge der hohen Temperatur in's Glühen gerathen, abschmelzen und nicht selten die Röhren an den Stellen, woselbst die Drähte eingeschmolzen sind, weich werden und rasch zu Grunde gehen. Wir haben von diesem linienreichsten Quecksilberspectrum, welches vor uns noch niemals beschrieben worden ist, beiläufig 600 Linien genau ausgemessen und ihre Wellenlänge bestimmt (s. Tabelle); jedoch ist die Zahl der überhaupt vorhandenen derartigen Quecksilberlinien hiemit keineswegs schon erschöpft.

---

[1] Senkrecht zur Axe geschnitten.

Linienspectrum des Quecksilbers

(bezogen auf Rowland's Normalspectrum).

Für die hellsten Linien ist $i = 10$, für die schwächsten $i = 1$ gesetzt.

Farbe	Bogenspectrum			Funkenspectrum zwischen Quecksilberelectroden bei Atmosphärendruck (Flaschenfunken)				Spectrum in quecksilberhaltigen Vacuumröhren								
								Bei hoher Verdünnung und 15—80° C. (ohne Leydnerflasche)			In erhitzten Vacuumröhren (Temp. 180 bis 400° C.) bei 10 bis 1000 *mm* Druck mit starken Flaschenfunken [1]			Bei geringem Drucke Quecksilber in einseitig erhitzten Geissler'schen Röhren durch die stark erhitzte Capillare destil., wonach es andererseits rasch condensirt wird. Starker Flaschenfunke [2]		
	Kayser und Runge			Eder und Valenta			Frühere Beobachter	Eder und Valenta								
	λ	*i*	Bemerkung	λ	*i*	Bemerkung		λ	*i*	Bemerkung	λ	*i*	Bemerkung	λ	*i*	Bemerkung
Orange Roth	—	—		6363·5	2		6360 Huggins	—	—		6363·5	1		6363·5	2	
	—	—		6152·3	9		6151·2 Thalén	—	—		6152·3	6		6152·3	9	
	—	—		5889·1	6		5888·1 »	—	—		5889·1	4	durchwegs scharfe Linien	5889·1	8	
	—	—						—	—		—	—		5880·5	2	
	—	—		5872·1	6		5871·1 »	—	—		5872·1	6		5872·1	8	
	—	—		—	—			—	—		—	—		5864·4	2	
	—	—		—	—			—	—		—	—		5854·5	1	verbreitert
	—	—		—	—			—	—		—	—		5840·6	1	
	—	—		—	—			—	—		—	—		5834·0	3	
	5819·1	1	unscharf	5819·1	1			—	—		5819·1	1		5819·1	4	
	5804·3	3	unscharf nach Roth	5804·3	1			—	—		5804·3	1		5804·3	10	
	5790·5	10	umgekehrt	5790·5	10	etwas verbreitert	5789·6 »	5790.5	10	scharf	5790·5	10	verbreitert	5790·5	2	»
	—	—		—	—			—	—					5781·9	1	
	5769·5	10	»	5769·5	10	»	5768·1 »	5769·5	10	»	5769·5	10	verbreitert gegen Violett	5769·5	10	
	—	—		—	—			—	—		—	—		5746·6	3	
	—	—		—	—			—	—		—	—		5727·7	5	
	—	—		—	—			—	—		—	—		5717·0	1	
	—	—		—	—			—	—		—	—		5713·4	2	
	—	—		—	—			—	—		—	—		5699·0	3	
	—	—		—	—			—	—		—	—		5695·7	1	
	—	—		5679·1	8	»	5678·1 »	—	—		5679·1	8	mässig verbreitert	5679·1	10	»
Gelb	—	—		—	—			—	—		—	—		5665·8	3	
	—	—		—	—			—	—		—	—		5662·5	3	
	—	—		—	—			—	—		5637·8	1	mässig verbreitert	5637·8	7	
	—	—		5596·0	1		5595·1 »	—	—		5596·0	6	mässig verbreitert	5596·0	8	
	—	—		—	—			—	—		—	—		5587·9	2	
	—	—		—	—			—	—		—	—		5576·2	3	
	—	—		—	—			—	—		—	—		5571·2	8	
	—	—		—	—			—	—		5553·6	2	mässig verbreitert	5553·6	4	stark verbr.
	—	—		—	—			—	—		5541·0	1	mässig verbreitert	5541·0	6	
	—	—		—	—			—	—		—	—		5513·4	3	sehr verbr.
	—	—		—	—			—	—		—	—		5501·4	2	
	—	—		—	—			—	—		—	—		5490·0	3	
	—	—		—	—			—	—		—	—		5484·6	4	wahrscheinl. doppelt
	—	—		—	—			—	—		—	—		5476·3	4	
	5461·0	10	»	5461·0	10	verbreitert	5460·6 »	5461·0	10	»	5461·0	10	stark verbreitert	5461·0	10	stark verbr.
	—	—		—	—			—	—		—	—		5455·0	3	

[1] Je stärker der Druck, desto mehr verbreitern sich die meisten Linien, so dass viele derselben fast bis zur Unkenntlichkeit verschwimmen.

[2] Bei ungenügend starkem Strom oder zu geringem Erhitzen entwickelt sich dies Spectrum nicht vollkommen, sondern nähert sich dem linienärmeren Spectrum der vorhergehenden Columne.

Farbe	Bogenspectrum			Funkenspectrum zwischen Quecksilberelectroden bei Atmosphärendruck (Flaschenfunken)				Spectrum in quecksilberhaltigen Vacuumröhren								
								Bei hoher Verdünnung und 15—80° C. (ohne Leydnerflasche)			In erhitzten Vacuumröhren (Temp. 180 bis 400° C.) bei 10 bis 1000 *mm* Druck mit starken Flaschenfunken			Bei geringem Drucke Quecksilber in einseitig erhitzten Geissler'schen Röhren durch die stark erhitzte Capillare destil., wonach es andererseits rasch condensirt wird. Starker Flaschenfunke		
	Kayser und Runge			Eder und Valenta			Frühere Beobachter	Eder und Valenta								
	λ	*i*	Bemerkung	λ	*i*	Bemerkung		λ	*i*	Bemerkung	λ	*i*	Bemerkung	λ	*i*	Bemerkung
Gelb	—	—		—	—			—	—		—	—		5449·9	3	
	—	—		—	—			—	—		—	—		5443·2	3	
	—	—		5426·5	8	ziemlich scharf	5426·1 Thalén	—	—		5426·5	8	mässig verbreitert	5426·5	10	stark verbr.
	—	—		—	—			—	—		—	—		5416·9	3	
	—	—		—	—			—	—		—	—		5398·5	2	
	—	—		—	—			—	—		—	—		5393·4	2	
	—	—		—	—			—	—		—	—		5384·9	1	
	—	—		—	—			—	—		—	—		5373·2	3	
	5365·3		sehr unscharf	5365·5	4	ziemlich scharf	5364·6 »	—	—		5365·5	4	mässig verbreitert	5365·5	2	»
	—	—		—	—			—	—		—	—		5360·6	1	nebelig
	—	—		—	—			—	—		—	—		5355·5	1	»
	—	—		—	—			—	—		—	—		5352·4	1	»
	—	—		—	—			—	—		—	—		5346·3	3	
	—	—		—	—			—	—		—	—		5334·3	2	verbreitert
	—	—		—	—			—	—		—	—		5311·7	4	
	—	—		—	—			—	—		—	—		5308·0	1	
	—	—		—	—			—	—		—	—		5294·7	2	
	—	—		—	—			—	—		5288·7	1	mässig verbreitert	5288·7	6	
	—	—		—	—			—	—		—	—		5284·2	3	
	—	—		—	—			—	—		—	—		5281·5	5	
	—	—		5279·3	2	ziemlich unscharf	5278·6 »	—	—		5279·3	2	mässig verbreitert	5279·3	4	
	—	—		—	—			—	—		—	—		5275·5	1	
	—	—		—	—			—	—		—	—		5273·7	4	
	—	—		—	—			—	—		—	—		5454·0	2	
	—	—		—	—			—	—		5242·8	1	mässig verbreitert	5242·8	7	
	—	—		—	—			—	—		5233·8	1	mässig verbreitert	5233·8	4	
	—	—		5218·0	2	ziemlich unscharf	5217·2 »	—	—		5218·0	2	mässig verbreitert	5218·0	7	
	—	—		—	—			—	—		—	—		5211·2	4	
Grün	—	—		5207·0	4	ziemlich unscharf	5206·2 »	—	—		5207·0	4	mässig verbreitert	5207·0	7	
	—	—		—	—			—	—		—	—		5196·6	4	
	—	—		—	—			—	—		—	—		5190·7	1	
	—	—		—	—			—	—		—	—		5187·5	2	
	—	—		—	—			—	—		—	—		5172·4	2	verschwommen
	—	—		—	—			—	—		5163·2	1	mässig verbreitert	5163·2	4	
	—	—		—	—			—	—		5149·2	1	mässig verbreitert	5149·2	4	
	—	—		—	—			—	—		—	—		5141·5	1	
	—	—		—	—			—	—		—	—		5135·6	5	
	—	—		5132·0	4		5131·2 »	—	—		—	—		5132·0	7	
	—	—		—	—			—	—		—	—		5113·7	1	
	—	—		—	—			—	—		—	—		5107·3	3	
	—	—		—	—			—	—		—	—				
	—	—		—	—			—	—		5101·5	1	verbreit.; verschwom.	5102·9 5100·5	3 1	
	—	—		—	—			—	—		—	—		5098·4	2	
	—	—		—	—			—	—		—	—		5086·3	1	
	—	—		—	—			—	—		—	—		5083·0	2	
	—	—		—	—			—	—		—	—		5073·6	2	
	—	—		—	—			—	—		5068·2	1		5068·2	7	
	—	—		—	—			—	—		—	—		5062·6	4	
	—	—		—	—			—	—		—	—		5058·4	1	

Farbe	Bogenspectrum			Funkenspectrum zwischen Quecksilberelectroden bei Atmosphärendruck (Flaschenfunken)				Spectrum in quecksilberhaltigen Vacuumröhren								
								Bei hoher Verdünnung und 15—80° C. (ohne Leydnerflasche)			In erhitzten Vacuumröhren (Temp. 180 bis 400° C.) bei 10 bis 1000 *mm* Druck mit starken Flaschenfunken			Bei geringem Drucke Quecksilber in einseitig erhitzten Geissler'schen Röhren durch die stark erhitzte Capillare destil., wonach es andererseits rasch condensirt wird. Starker Flaschenfunke		
	Kayser und Runge			Eder und Valenta			Frühere Beobachter	Eder und Valenta								
	λ	*i*	Bemerkung	λ	*i*	Bemerkung		λ	*i*	Bemerkung	λ	*i*	Bemerkung	λ	*i*	Bemerkung
Grün	—	—		—	—			—	—		—	—		5051·8	1	
	—	—		—	—			—	—		—	—		5048·4	2	
	—	—		—	—			—	—		5047·0	1	verschwom., wahrscheinl. doppelt			
	—	—		—	—			—	—		—	—		5045·7	4	
	—	—		—	—			—	—		—	—		5042·4	2	
	—	—		—	—			—	—		—	—		5038·3	2	
	—	—		—	—			—	—		—	—		5027·1	1	
	—	—		—	—			—	—		—	—		5020·9	2	
	—	—		—	—			—	—		—	—		5018·4	2	
	—	—		—	—			—	—		—	—		5008·6	2	verbreitert
	—	—		—	—			—	—		—	—		4992·5	5	
	—	—		—	—			—	—		—	—		4986·7	3	
	—	—		—	—			—	—		—	—		4981·3	3	
	—	—		—	—			—	—		4974·0	1	verbreitert	4974·0	6	
	—	—		—	—			—	—		—	—		4970·0	1	
	—	—		—	—			—	—		—	—		4965·4	1	sehr schwach
	4959·7	3	unscharf	4959·7	6		4958·1 Thalén	—	—		4959·7	6	mässig verbreitert	4959·7	4	sehr stark verbreitert
	—	—		—	—			—	—		—	—		4949·4	3	
	—	—		—	—			—	—		—	—		4943 4	1	verbreitert
	—	—		—	—			—	—		—	—		4933·0	2	»
	—	—		—	—			—	—		—	—		4917·9	2	
	4916·4	5	»	4916·4	4		4916·1 »	4916·1	2	verschwindet in weiten Röhren oft ganz	4916·4	4	mässig verbreitert	4916·4	4	
	—	—		—	—			—	—		—	—		4913·0	2	
	—	—		—	—			—	—		4902·1	1	mässig verbreitert	4902·1	4	»
	—	—		—	—			—	—		4896·7	1	verschwom.	4898·3	3	
														4895·8	2	»
	—	—		—	—			—	—		—	—		4880·2	1	
	—	—		—	—			—	—		—	—				
	—	—		—	—			—	—		4866·9	1	verschwom.	4869·9	3	
														4867·3	4	
	—	—		—	—			—	—		—	—		4864·8	3	
	—	—		—	—			—	—		—	—		4856·6	3	»
	—	—		—	—			—	—		—	—		4849·4	1	»
	—	—		—	—			—	—		—	—		4844·6	2	scharf
Blau	—	—		—	—			—	—		4841·3	1	verschwomm.	4841·3	4	
	—	—		4826·0	1	undeutlich		—	—		4826·0	4	mässig verbreitert	4826·0	8	
	—	—		—	—			—	—		4813·0	2	mässig verbreitert	4813·0	4	
	—	—		—	—			—	—		4797·4	2	mässig verbreitert	4797·4	8	
	—	—		—	—			—	—		—	—		4773·7	1	
	—	—		—	—			—	—		—	—		4768·1	6	
	—	—		—	—			—	—		4753·4	1	verschw., wahrsch. doppelt	4753·4	3	
	—	—		—	—			—	—		4744·7	1	verschwomm.	4744·7	6	
	—	—		—	—			—	—		—	—		4740·3	1	
	—	—		—	—			—	—		—	—		4729·9	3	
	—	—		—	—			—	—		—	—		4697·9	1	

Farbe	Bogenspectrum			Funkenspectrum zwischen Quecksilberelectroden bei Atmosphärendruck (Flaschenfunken)				Spectrum in quecksilberhaltigen Vacuumröhren								
								Bei hoher Verdünnung und 15—80° C. (ohne Leydnerflasche)			In erhitzten Vacuumröhren (Temp. 180 bis 400° C.) bei 10 bis 1000 *mm* Druck mit starken Flaschenfunken			Bei geringem Drucke Quecksilber in einseitig erhitzten Geissler'schen Röhren durch die stark erhitzte Capillare destil., wonach es andererseits rasch condensirt wird. Starker Flaschenfunke		
	Kayser und Runge			Eder und Valenta			Frühere Beobachter	Eder und Valenta								
	λ	*i*	Bemerkung	λ	*i*	Bemerkung		λ	*i*	Bemerkung	λ	*i*	Bemerkung	λ	*i*	Bemerkung
Blau	—	—		—	—			—	—		—	—		4689·1	1	
	—	—		—	—			—	—		—	—		4687·0	1	sehr schwach
	—	—		—	—			—	—		—	—		4681·6	2	verschwommen
	—	—		—	—			—	—		—	—		4667·5	2	
	—	—		—	—			—	—		—	—		4664·2	1	
	—	—		—	—			—	—		4661·0	1	verschwomm.	4661·0	7	
	—	—		—	—			—	—		—	—		4651·7	5	
	—	—		—	—			—	—		—	—		4647·8	2	
	—	—		—	—			—	—		—	—		4639·3	1	
	—	—		—	—			—	—		—	—		4637·0	2	einseitig abschattirt
	—	—		—	—			—	—		4635·9	1	undeutlich	4635·9	1	»
	—	—		—	—			—	—		—	—		4634·2	1	»
	—	—		—	—			—	—		—	—		4630·5	1	
	—	—		—	—			—	—		—	—		4626·2	2	verbreitert
	—	—		—	—			—	—		—	—		4620·5	1	»
	—	—		—	—			—	—		—	—		4616·5	1	»
	—	—		—	—			—	—		—	—		4604·8	2	
	—	—		—	—			—	—		—	—		4602·9	2	
	—	—		—	—			—	—		—	—		4600·7	2	
	—	—		—	—			—	—		4598·2	1	»	4598·2	5	
	—	—		—	—			—	—		—	—		4593·5	1	
	—	—		—	—			—	—		—	—		4587·1	2	
	—	—		—	—			—	—		—	—		4580·1	1	undeutlich
	—	—		—	—			—	—		—	—		4578·2	1	»
	—	—		—	—			—	—		—	—		4576·9	1	
	—	—		—	—			—	—		—	—		4571·5	1	
	—	—		—	—			—	—		—	—		4568·8	2	verbreitert
	—	—		—	—			—	—		—	—		4562·3	2	
	—	—		—	—			—	—		4556·7	2	strk. verb., wahrsch. doppelt			
	—	—		—	—			—	—		—	—		4553·8	6	
	—	—		—	—			—	—		—	—		4547·0	2	
	—	—		—	—			—	—		—	—		4544·2	4	
	—	—		—	—			—	—		—	—		4541·7	1	
	—	—		—	—			—	—		—	—		4539·9	1	verschwommen
	—	—		—	—			—	—		—	—		4537·7	2	»
	—	—		—	—			—	—		—	—		4534·9	1	
	—	—		—	—			—	—		—	—		4532·7	2	
	—	—		—	—			—	—		—	—		4530·3	1	
	—	—		—	—			—	—		—	—		4525·1	1	
	—	—		—	—			—	—		4522·9	1	verbreitert	4522·9	6	scharf
	—	—		—	—			—	—		—	—		4518·9	1	
	—	—		—	—			—	—		—	—		4516·4	4	
	—	—		—	—			—	—		—	—		4511·5	2	
	—	—		—	—			—	—		—	—		4507·2	2	
	—	—		—	—			—	—		—	—		4505·0	1	stark verbr.
	—	—		—	—			—	—		—	—		4499·8	1	
	—	—		—	—			—	—		—	—		4498·0	1	
	—	—		—	—			—	—		—	—		4495·0	1	scharf
	—	—		—	—			—	—		—	—		4493·2	1	»
	—	—		—	—			—	—		—	—		4491·9	1	
	—	—		—	—			—	—		—	—		4490·3	3	
	—	—		—	—			—	—		4486·8	3	scharf	4486·8	8	stark verbr.
	—	—		—	—			—	—		—	—		4483·7	3	
	—	—		—	—			—	—		—	—		4480·7	1	
	—	—		—	—			—	—		4470·5	1	»	4470·5	5	